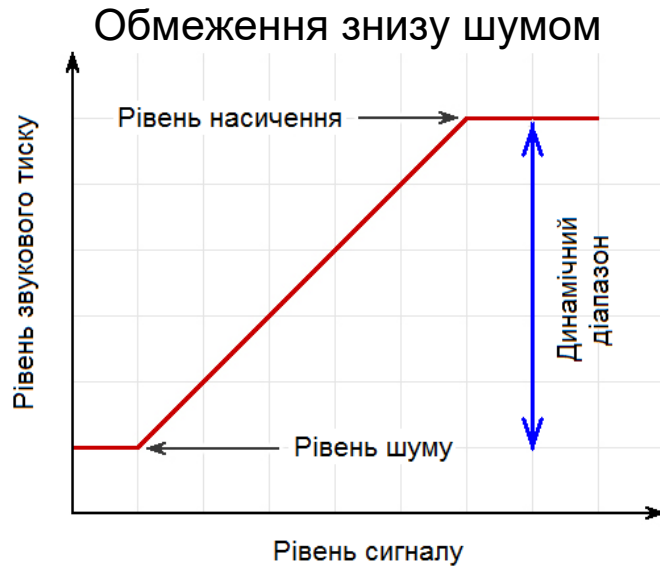
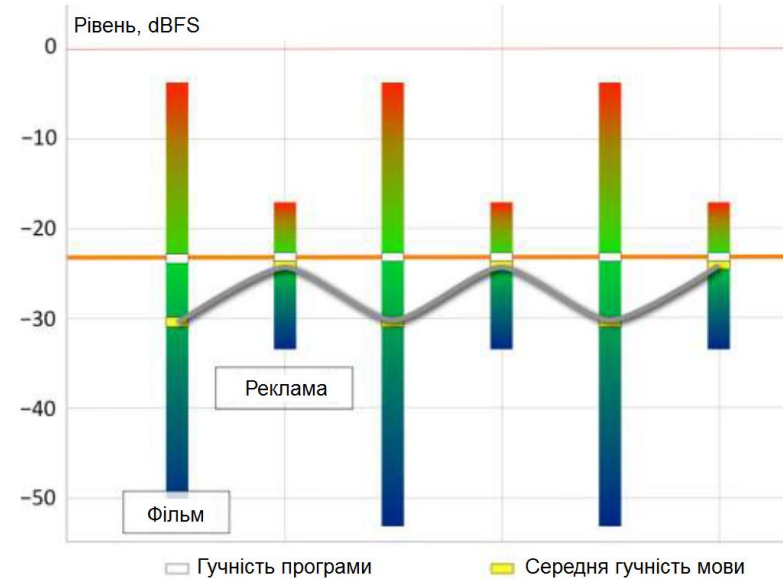


ДОДАТОК А  
ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

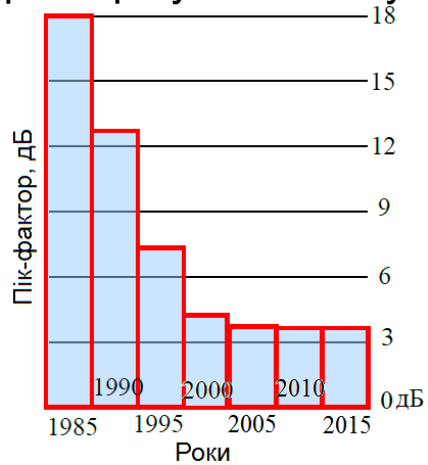
# Проблемна ситуація



### Стрибки між фільмом та рекламою



### Пік-фактор сучасних звукозаписів



Ці проблеми вимагають застосування динамічних процесорів, які регулюють динамічний діапазон та нормалізують звучання.

Рисунок А.1 – Проблемна ситуація

## Постановка задачі

Сучасні динамічні процесори працюють за різними алгоритмами роботи та мають багато налаштувань. Кожен динамічний процесор є принципово нелінійним пристроєм, який вносить спотворення в оброблений сигнал.

*Об'єкт дослідження* нелінійні спотворення звукових сигналів при обробці динамічними процесорами.

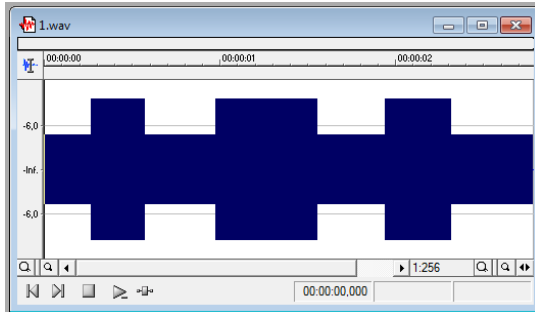
*Мета роботи* – об'єктивна та суб'єктивна оцінка впливу параметрів динамічних процесорів на характеристики оброблених сигналів .

*Методи дослідження* – модельний експеримент, натурний експеримент, статистична обробка експериментальних даних.

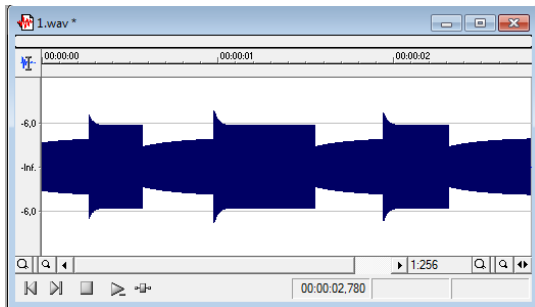
Рисунок А.2 – Постановка задачі

# Дослідження компресорів в аудіоредакторах

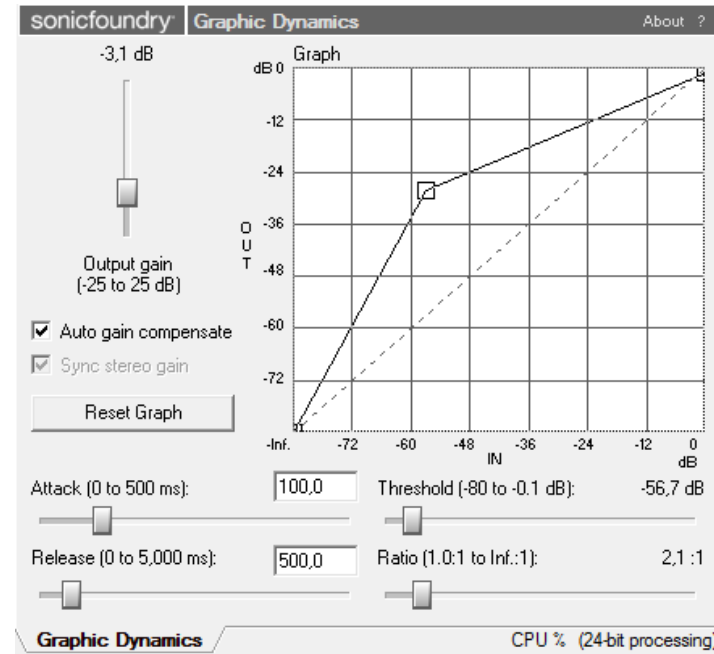
Вхідний сигнал



Вихідний сигнал



Налаштування компресора



Аналізувалися часова і амплітудна структура сигналів і їх звучання після обробки з різними значеннями порогу, коефіцієнта компресії, часу атаки і затухання.

Рисунок А.3 – Дослідження компресорів в аудіоредакторах

## Структура оброблених сигналів



Результати досліджень:

Атака:

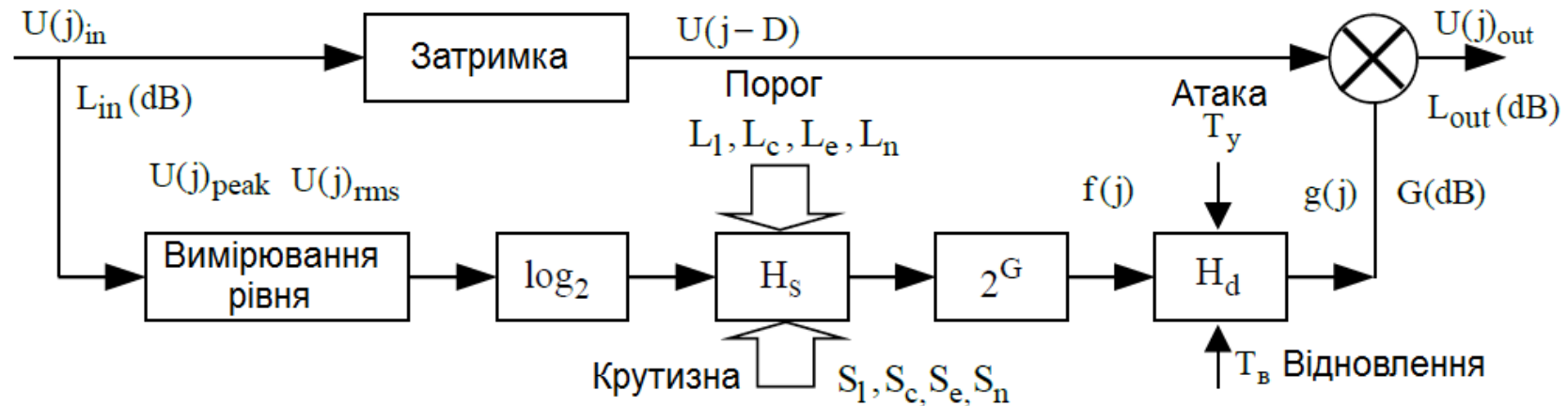
лімітери – 0,5...1,0 мс,  
компресія мови – 1...2 мс,  
компресія музики – 10...100 мс

Відновлення:

компресія інструмента – 500 мс  
компресія мови – 300 мс,  
компресія міксу – 100...1000 мс

Рисунок А.4 – Структура оброблених сигналів

## Структура динамічного процесора



*Верхнє коло* – обробка сигналу з буферною затримкою.

*Нижнє коло* – формування керуючого сигналу для обробки.

*Нижній канал* управління містить

- середньоквадратичний (RMS) або піковий детектор,
- обчислювач логарифму для вимірювання рівня,
- блок формування передаточної характеристики з заданим порогом (Threshold) і компресією (Ratio),
- обчислювач антилогарифму для перетворення в лінійні одиниці,
- інерційне коло для завдання часу атаки (Attack) і відновлення (Release).

Рисунок А.5 – Структура динамічного процесора

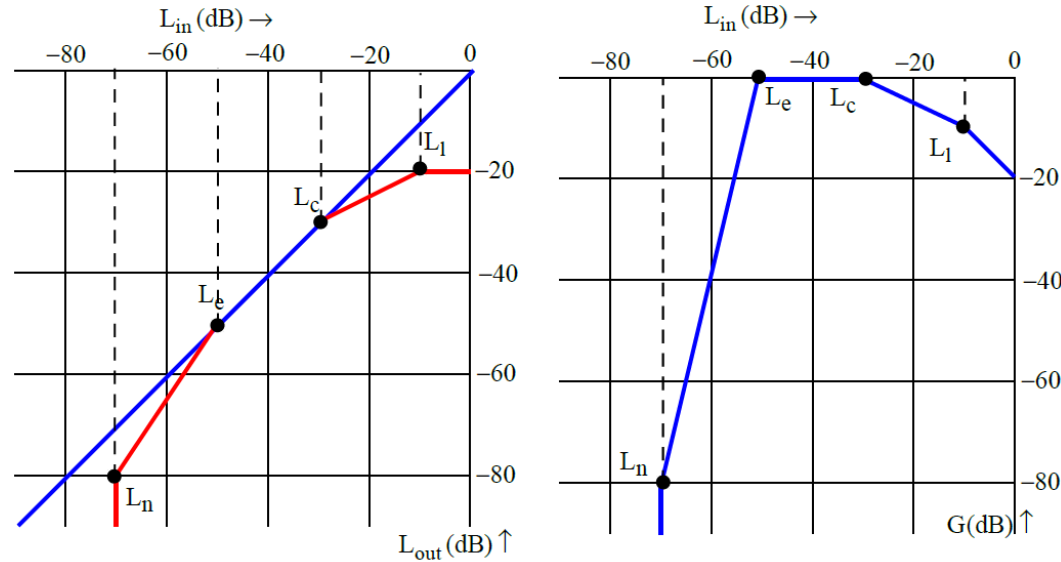
# Математичне описання компресора

Функції регулювання у різних режимах

Режими	Функції регулювання
Лімітер	$G_l = -S_l(U_{in} - L_l) + S_c(L_c - L_l)$
Компресор	$G_c = -S_c(U_{in} - L_c)$
Лінійний	$G_{lin} = 0$
Експандер	$G_e = -S_e(U_{in} - L_e)$
Гейт	$G_n = -S_n(U_{in} - L_n) + S_e(L_e - L_l)$

Крутизна нахилу передавальної функції  $S$  і коефіцієнт компресії  $R$

Режими	Крутизна	Коефіцієнт компресії
Лімітер	$S=1$	$R=\infty$
Компресор	$0 < S < 1$	$1 < R < \infty$
Лінійний	$0$	$R=1$
Експандер	$-\infty < S < 0$	$0 < R < 1$
Гейт	$S=-\infty$	$R=0$

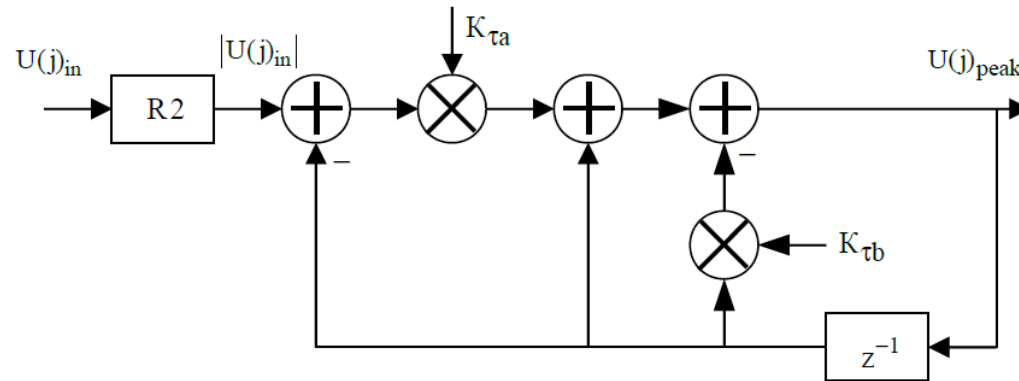


Статичні передавальна і регулювальна характеристики

Рисунок А.6 – Математичне описання компресора

## Алгоритми детекторів обвідної

### Піковий детектор

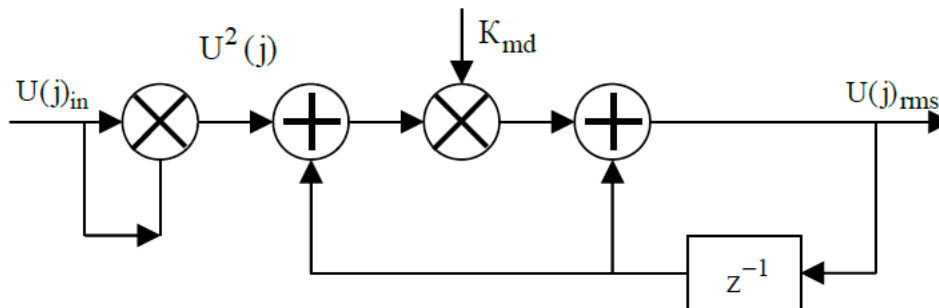


Передаточна функція пікового детектора

$$H(z) = \frac{K_{\tau a}}{1 - (1 - K_{\tau a} - K_{\tau b}) \cdot z^{-1}}$$

де  $K_{\tau a}$  і  $K_{\tau b}$  пов'язані з часом атаки та відновлення.

### Середньоквадратичний детектор



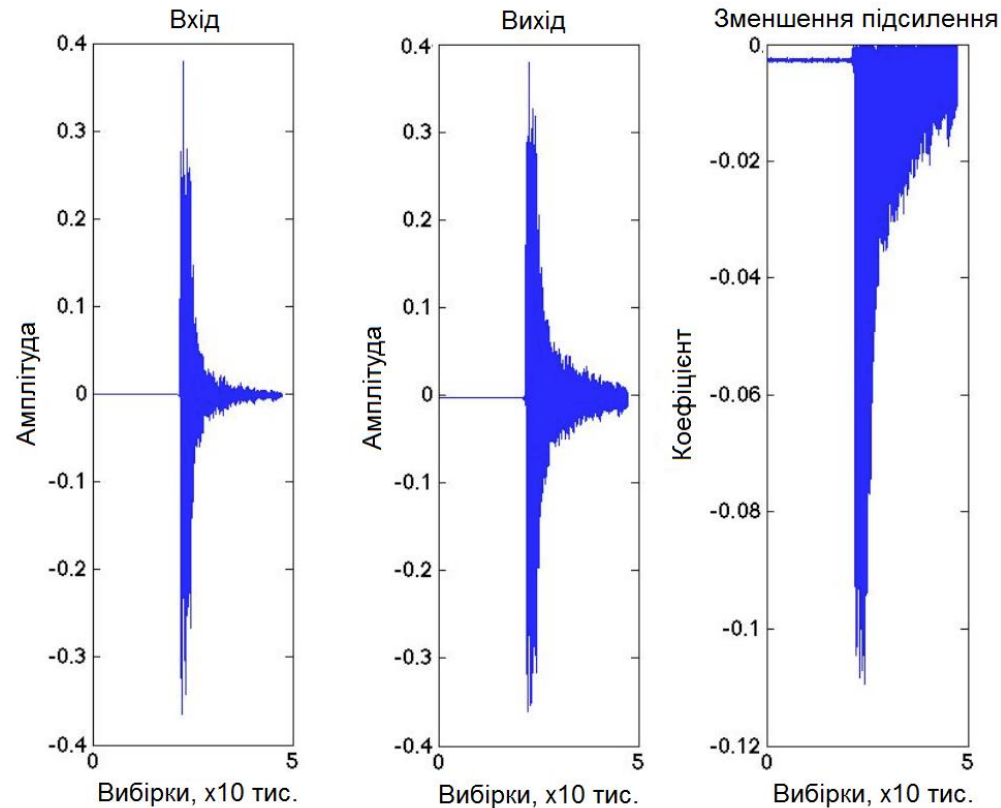
Передаточна функція RMS детектора

$$H(z) = \frac{K_{md}}{1 - (1 - K_{md}) \cdot z^{-1}}$$

$K_{md}$  пов'язаний з часом усереднення.

Рисунок А.7 – Алгоритми детекторів обвідної

## Реалізація компресора в MATLAB



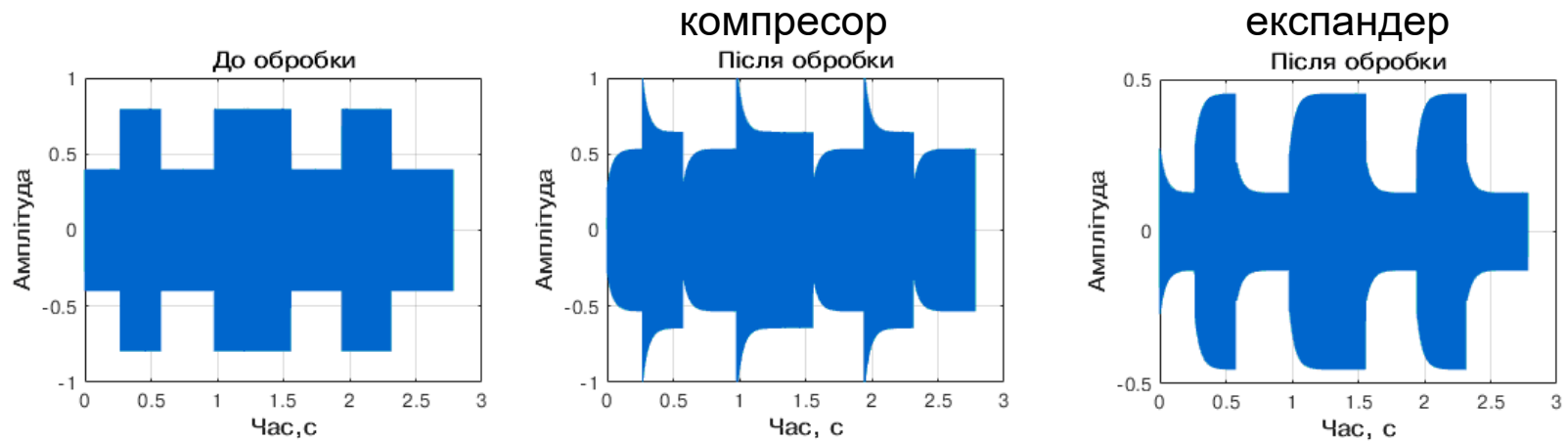
Як і очікувалося, найбільше зменшення підсилення спостерігається там, де амплітуда вхідного сигналу найбільша.

Вплив цього факту на результат обробки полягає в тому, що підкреслюються частини звуку з меншими рівнями, що можна чітко почути як більш протяжний «хвіст»

Результат роботи програми компресора  
(а – вхідний сигнал, б – вихідний сигнал,  
в – зменшення підсилення)

Рисунок А.8 – Реалізація компресора в MATLAB

# Дослідження нелінійних спотворень



Залежність спектрів сигналів від амплітудної модуляції та динамічної обробки

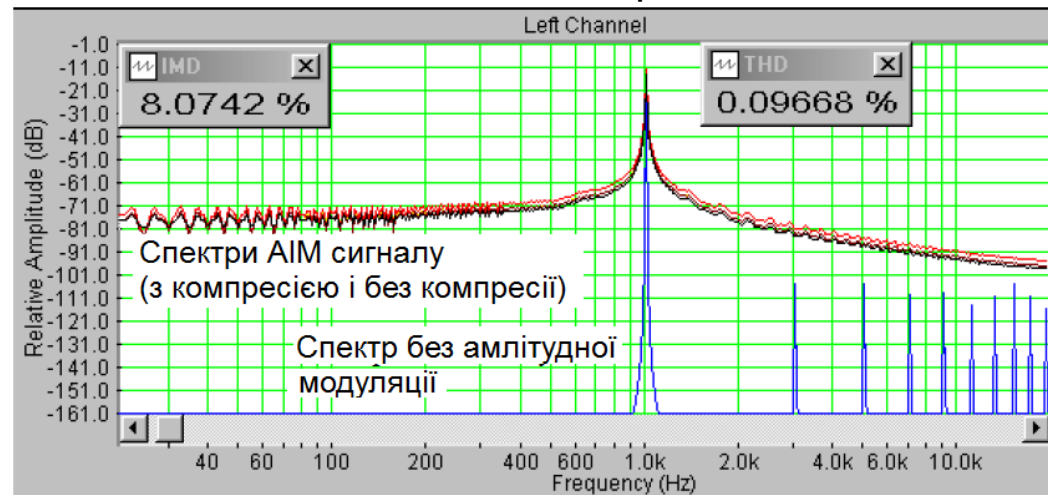


Рисунок А.9 – Дослідження нелінійних спотворень

## Оцінка нелінійних спотворень

Режим роботи	Атака, мс	Відновлення, мс	IMD, %	THD, %
Немає модуляції			0,07	0,008
Є модуляція			9,97	0,089
Компресор	100	200	15,6	0,08
	0	200	12,3	0,08
Експандер	100	200	9,97	0,097
	0	200	8,62	0,079

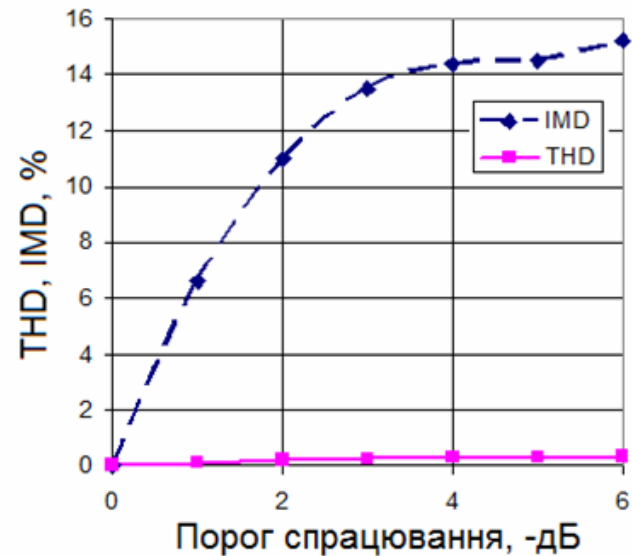
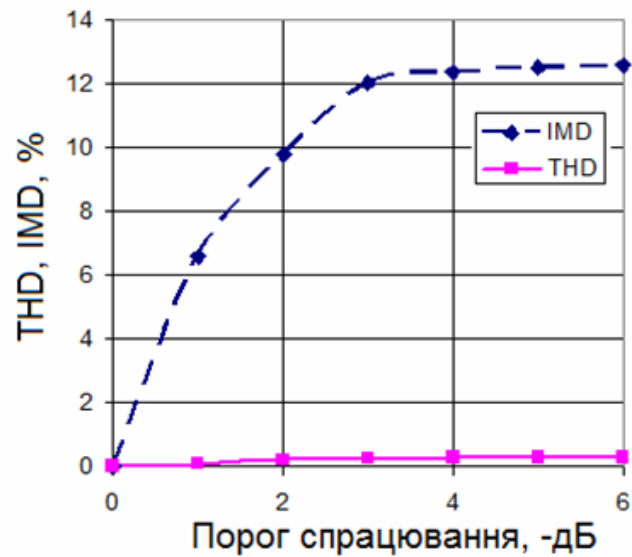


Рисунок А.10 – Оцінка нелінійних спотворень

## Висновки

1. При компресії звукових сигналів зазвичай переважають інтермодуляційні спотворення, їхня величина може досягати 9...12%.
2. Гармонічні нелінійні спотворення значно менше і, зазвичай, їх величина складає 0,1... 2,5%.
3. Зі зниженням порога обмеження інтермодуляційні нелінійні спотворення ростуть по закону, близькому до зворотної експоненти.
4. При порозі -2 дБ спотворення майже подвоюються, а починаючи з рівня – 4 дБ, майже перестають збільшуватись.
5. У досліджених компресорах спотворення стають помітними на слух при порозі обмеження нижче – 3дБ.
6. Потрібний час встановлення та відновлення залежить від характеру музичного матеріалу, тому їх можна і потрібно змінювати.

Рисунок А.11 – Висновки

